Vol.14, No.2, Summer 2025, p.308-328 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076



Journal of Geography and Environmental Hazards





RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2024.88446.1494 OPEN ACCESS

Trend Analyzing of Land Use Changes and its prediction in Zolachay Watershed

Tayabeh Irani,[1] Hirad Abaghari [2*] , Ali Akbar Rasouli [3]

[1] Ph.D. in Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran
[2] Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran
[3] Professor, Department of Environmental Sciences, Macquarie University, Sydney, Australia

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 10 June 2024

Revised: 01 October 2024

Accepted: 30 October 2024

Available Online: 30 October 2024

Keywords:

Sentinel-2

Markov Chain

Object-Oriented Processing

Land Use Changes

Zolachay Watershed

ABSTRACT

Investigating the prediction of land use changes is one of the crucial factors for understanding environmental transformations at all temporal and spatial scales. The present research aims to examine the trend of changes and predict the future land use status in the Zolachay Watershed located in West Azerbaijan Province, one of the sub-basins of Lake Urmia, in the last 33 years. For this purpose, first, the Sentinel-2 and Landsat 5,7 images for 1990, 2020, 2016, 2010, 2005, 2000, 1995, and 2023 were acquired from their official sites. Then, needed preprocessing methods were applied in various software environments, and the relevant images were produced inside the e Cognition software environment. Then, the nearest neighbor classification model was executed using the object-based method, and land use and landcover maps were generated. Finally, using the Markov Chain Cellular Automata (CA) method, simulations of land use changes for the year 2030 were performed. To assess the accuracy of the CA Markov model, the land use change map for 2023 was validated against the 2023 classification map. The final results indicate that applying knowledge-based methods, especially the nearest neighbor classification, allows for the product of land use maps with a high accuracy coefficient (Kappa 91%), followed by the Markov (CA) model change maps with an acceptable accuracy of 87%. The final results demonstrate that by 2030, agricultural land use will increase by 15.03%, residential areas by 9.0%, and drylands by about 14%. Soil land use will decrease by 23.68% and pastures by 6.5%. Overall, the final models indicate the high accuracy of knowledge-based and object-based methods, as well as the satisfactory performance of the Markov model in the study of land use changes. The findings of this research can serve as a reference in future environmental planning processes, aiming at sustainable recommendations and prudent land utilization.

* Corresponding author: Dr. Hirad Abaghari E-mail address: h.abghari@urmia.ac.ir

How to cite this article: Irani, T., Abaghari, H., & Rasouli, A. A. (2025). Analyzing the Trend of Land Use Changes in the Past and Future in Zolachay Watershed. *Journal of Geography and Environmental Hazards, 14*(2), 308-328. https://doi.org/10.22067/geoeh.2024.88446.1494



Extended Abstract

Introduction

Understanding land use changes is fundamental for analyzing environmental dynamics and managing natural resources at multiple scales. Remote sensing data combined with simulation models like the Cellular Automata-Markov (CA-Markov) enables effective monitoring and spatiotemporal prediction of land use patterns. Advanced object-based classification methods, using software such as eCognition, improve the accuracy of land cover analysis. Numerous global and regional studies demonstrate the efficacy of these approaches in assessing land use trends. This study aims to analyze the land use changes in the Zolachay watershed, a sub-basin of Lake Urmia, from 1990 to 2023 and predict future changes up to 2030, utilizing Sentinel-2 satellite imagery and advanced image processing techniques to provide valuable data for watershed management and environmental planning.

Material and Methods

The Zolachay watershed, a sub-basin of Lake Urmia located in the northwest of the lake, covers an area of 2,258 km². Originating from the Qaradash and Saridash mountains near the Iran-Turkey border, the perennial Zolachay River flows through several villages before emptying into the northwest part of Lake Urmia.

In order to produce land use maps in the present study, Landsat 5, 7 and Sentinel 2 satellite images were used, with a spatial resolution of 30 and 10 meters and having various spectral ranges.

Based on the research objective, which is to detect land use changes, considering the knowledge of the study area and Google Earth images and training points taken by GPS, land use classes were divided based on water area use, residential areas, pasture, salt marsh, gardens and irrigated lands, dry lands and soil. Image classification with the object-oriented method was used using the nearest neighbor NNC algorithm and samples were selected for each class according to the visual characteristics, and classification conditions were defined for each land use class. Land use maps were extracted for 8 periods with the object-oriented method, the area of the classified land uses was calculated. In the next step, land use change prediction was performed using Markov and CA-Markov.

In this study, after formatting the classified images and valuing the land use classes, Markov chain calculations were performed using combination functions in TerrSet 2020 software. Then, land use prediction layers were generated and the final results were evaluated. These results were transferred to other software for additional analyses. Subsequently, the digital layers were imported into ArcGIS 10.8 software, targeted analyses and layer combinations were performed, and the final results were extracted.

Results and Discussion

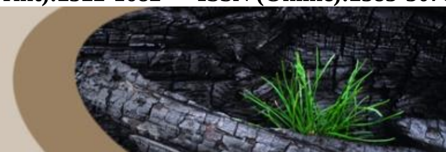
To verify the accuracy of the classification map of the Zolacha watershed in 2023, it was compared with the forecast map in 2023. The values of Kno, Klocation, Klocationstrata and the standard kappa values Kstandard were obtained as 0.87%, 0.93%, 0.93% and 0.84%, respectively. The results show that the area of agricultural land use has increased rapidly, so that the area of irrigated agriculture land use will increase from 36.8% and 89.6% of the total area of the basin in 2016 to more than 39.23% and 46.21% in 2030. And the area of pasture and soil land use will decrease from 36.20% and 47.93% of the total area of the basin in 2016 to 29.7% and 24.25% in 2030, respectively. More precisely, the area of two land uses, irrigated areas

and pastures, has decreased, and dryland, residential, orchards and irrigated lands and salt marshes have increased. And it is predicted that in 2030, the area of land uses, irrigated areas and pastures will decrease, and the area of residential, orchards and irrigated lands, dryland and salt marshes will increase. Finally, the land uses of irrigated areas and orchards, dryland, residential, irrigated areas and salt marshes with an area of 188.74, 157.61, 3.78, 8.1 and 0.12 km2 of total area in 1990 will reach 18.528, 63.484, 36.24, 9.2 and 0.001 km2 of total area in 2030. Based on the results of the land use change trend in the present study, the most land use changes are related to the conversion of soil and pasture land to total irrigated land and orchards, dryland and residential land.

Conclusions

From the results obtained, practical strategies and measures can be taken to control land use change and preserve natural lands. These measures can include measures to preserve sensitive areas such as water areas and pastures, sustainable development of gardens, and upgrading urban infrastructure in residential areas. These approaches seek to maintain ecological and economic balance in the region and can help improve the quality of life of the community and protect the environment. Also, land use change is evaluated as a balancing factor of ecological, hydrological, and economic components, and its effects can affect the economic situation and lifestyle of the people of the region. These findings can be used in the future environmental planning process, especially in the development of sustainable recommendations and principled land use.

ISSN (Online):2383-3076 ISSN (Print):2322-1682 جلد ۱۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص ۳۲۸-۳۰۸



نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی



مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2024.88446.1494 دسترسی آزاد

تحلیل روند تغییرات و آینده نگری کاربری اراضی حوضه آبخیز زولاچای

طیبه ایرانی[۱]، هیراد عبقری*[۲]، علی اکبر رسولی[۳]

[۱] دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران

[۲] دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران

[۳] استاد گروه علوم محیطی، دانشگاه مک کواری، سیدنی، استرالیا

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۹

کلمات کلیدی:

سنتینل۲

زنجیره مارکوف

پردازش شیءگرا

تغییرات کاربری اراضی

حوضه‌آبخیز زولاچای

چکیده

بررسی پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی از جمله عوامل مهم برای درک تحولات محیطی در تمام مقیاس‌های زمانی و مکانی می‌باشد. هدف پژوهش حاضر بررسی روند تغییرات گذشته و پیش‌بینی وضعیت آتی کاربری اراضی حوضه آبخیز زولاچای واقع در استان آذربایجان غربی یکی از زیرحوضه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه در ۳۳ اخیر است. به‌همین منظور ابتدا تصاویر Sentinel2 و Lansat 5, 7، برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰،۲۰۰۵،۲۰۱۰،۲۰۱۶،۲۰۲۰، ۱۹۹۵ و۲۰۲۳ دریافت گردید. سپس روش‌های پیش‌پردازش در محیط نرم‌افزارهای مختلف اعمال و تصاویر مربوطه به محیط نرم‌افزار eCognition ارسال گردید. در این محیط با استفاده از روش شیءگرا مدل طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایگی اجرا و نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی تولید شد. در نهایت با استفاده از روش CA مارکوف شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۳۰ انجام شد. برای بررسی صحت مدل CA مارکوف، نقشه تغییرات پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۳ با نقشه طبقه‌بندی ۲۰۲۳ صحت‌سنجی شد. نتایج پژوهش نشان داد که با کاربرد روش‌های دانش‌پایه به ویژه طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایگی امکان تولید نقشه‌های کاربری اراضی با دقت بالا ضریب کاپا۹۱٪ مکان‌پذیر است. ضمنا با اعمال مدل مارکوف نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی با دقت قابل قبول ۸۷٪ امکان پذیر است. نتایج نهایی نشان می‌دهد تا سال ۲۰۳۰ میلادی کاربری اراضی کشاورزی ۱۵/۰۳٪ محدوده‌های مسکونی ۰/۹٪ و دیم حدود ۱۴٪ افزایش خواهد داشت. کلاس کاربری خاک در حد ۲۳/۶۸٪ و مراتع به میزان ۶/۵٪ کاهش خواهند داشت. در مجموع، مدل‌های نهایی نشان دهنده دقت بالای روش‌های دانش پایه و شیءگرا، و همچنین کارایی مناسب مدل مارکوف در مطالعه تغییرات کاربری اراضی هستند. یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر می‌توانند در روند برنامه‌ریزی‌های محیطی آتی، به ویژه با هدف توصیه پایدار و بهره‌برداری اصولی از اراضی، به عنوان مرجع مورد استفاده قرار گیرند.

*نویسنده مسئول : دکتر هیراد عبقری E-mail address: h.abghari@urmia.ac.ir

مقدمه

یکی از عوامل اساسی در درک تحولات محیطی در تمام مقیاس‌های زمانی و مکانی تغییرکاربری زمین است (Kumar, Bhaskar & Padmakumari, 2015). آگاهی از تغییر کاربری زمین یکی از مهم‌ترین پارامترهای تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی زمین در مقیاس جهانی و منطقه‌ای است. پیشرفت در درک حالات ممکن تغییر کاربری زمین می‌تواند در شناسایی و تشخیص فرآیندهای زمینی، سیلاب و سایر پدیده‌ها در آینده مناسب باشد (Armenteras, Murcia, González, Barón & Arias, 2019)، بنابراین بررسی تغییرات کاربری اراضی می‌تواند به درک بهتر از فرآیندهای انسانی کمک کند و این اطلاعات می‌تواند در جلوگیری از میزان تخریب ایجاد شده تأثیرگذار باشد (Longley, Barnsley & Donnay, 2001). تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی بخش مهمی برای تأمین اطلاعات متخصصان و برنامه‌ریزان توسعه شهری و روستایی محسوب می‌شود. انجام عملیات زمینی جهت تهیه این اطلاعات در مقیاس وسیع با دقت بالا، به دلیل هزینه‌بر بودن، زمان‌بر بودن و گاهی به دلیل عدم امکان اجرای موفقیت‌آمیز، چالش‌های بسیاری را ایجاد می‌کند. امروزه، با پیشرفت فناوری سنجش از راه دور، این روند به عنوان یک راهکار کارآمد در شناسایی، تشخیص، پایش و پهنه‌بندی منابع طبیعی، به ویژه در زمینه تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، به‌طور علمی و موثر مورد توجه قرار می‌گیرد (Rasouli, 1999).

منطقه‌های وسیع حوضه‌های آبخیز توسط داده‌های سنجش از دور پوشش داده می‌شوند و همچنین پوشش زمانی زیاد این داده‌ها اطلاعات باارزشی از فرآیند، مکان، نسبت، الگوی تغییر پوشش‌کاربری‌زمین و روند طبیعی فراهم خواهد کرد (Munthali, Botai, Davis & Adeola, 2019). برای شناخت الگوهای کاربری زمین و مکانیزم‌های پیچیده، استفاده از ابزارهایی مانند مدل‌ها و تحلیل حالت‌های ممکن بسیار اثربخش است. برخی از این مدل‌های شبیه‌سازی می‌توانند الگوها و مکانیزم‌های پیچیده را تشخیص داده و حتی در پیش‌بینی حالت‌های آینده نیز به تصمیم‌گیری کمک کنند. از مدل‌هایی که در این زمینه استفاده می‌شوند، می‌توان به مدل‌های اتوماتای سلولی و زنجیره‌ی مارکوف اشاره کرد (Samie, Deng, Jia & Chen, 2017). مدل‌سازی مکانی تغییر کاربری‌زمین به اطلاعاتی در مورد این‌که تغییر در کجا اتفاق خواهد افتاد (مقدار و مکان) و اندازه‌ی تغییر نیازمند می‌باشد. مدل زنجیره‌ی مارکوف اطلاعاتی از مکان ارائه نمی‌دهد و فقط پویایی زمانی را به‌دست می‌آورد اما مدل اتوماتای سلولی CA در مقایسه با مدل زنجیره‌ی مارکوف، دارای مولفه مکانی می‌باشد، که با قانون‌های خاصی از سلول‌های همسایه تغییر در آینده محاسبه می‌شود. خروجی مدل مارکوف از نظر ماهیت، مکانی نیست؛ یعنی در آن از موقعیت جغرافیایی کاربری‌های زمین هیچ آگاهی و دانشی وجود ندارد. مدل مارکوف روش سلول‌های خودکار به‌همراه زمان t+1 برای پیش‌بینی موقعیت کاربری‌ها به‌کار گرفته می‌شود. مدل CA مارکوف مولفه‌های مجاورت مکانی را به توزیع مکانی به مدل زنجیره‌ی مارکوف احتمال تبدیل کاربری‌ها و دانش کاربر را اضافه می‌کند (Misagh, Neysani Samani & Tomanain, 2018). مدل CA مارکوف در پیش‌بینی زمانی-مکانی بسیار مفید است چون روند تغییرکاربری زمین در نظر می‌گیرد (Mujiono, Harmantyo, Rukmana & Nadia, 2017). به طور کلی، توانایی شبیه‌سازی و مدل‌سازی حالت‌های ممکن مختلف با به‌کارگیری روش‌های نوین در پردازش تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از مدل‌های کارآمد در تحلیل‌های مکانی، امکان پیش‌بینی و بررسی تغییرات زمانی-مکانی کاربری زمین را فراهم می‌آورد. استفاده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای یکی از مهمترین روش‌ها برای استخراج اطلاعات کاربردی است (Blaschke, 2010). در حال حاضر طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با سه روش کلی پردازش شیءگرا، پیکسل‌پایه و آموزش‌گرای انجام می‌شود (Jouybari Moghadam, Akhundzadeh & Sarajian, 2014). اخیراً، یک روش نوین شیءگرا برای تجزیه و تحلیل تصویر به کار گرفته می‌شود که قطعه‌بندی سطح پایین بدون دانش را با روش‌های طبقه‌بندی فازی سطح بالا و مبتنی بر دانش ادغام می‌کند. این روش جدید با استفاده از نرم افزار eCognition که یک محیط شیءگرا برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای فراهم می‌کند، طراحی شده است. در روش طبقه‌بندی شیءگرا، اطلاعات طیفی، شکل، و بافت‌ها به طور همزمان در نظر گرفته می‌شوند. معمولاً، خطاهای متعددی در روش‌های طبقه‌بندی مبتنی بر پیکسل قابل انتظار است که باید با توجه به قدرت تفکیک مکانی سنجنده و سایر عوامل مؤثر، شناسایی شوند. اما در

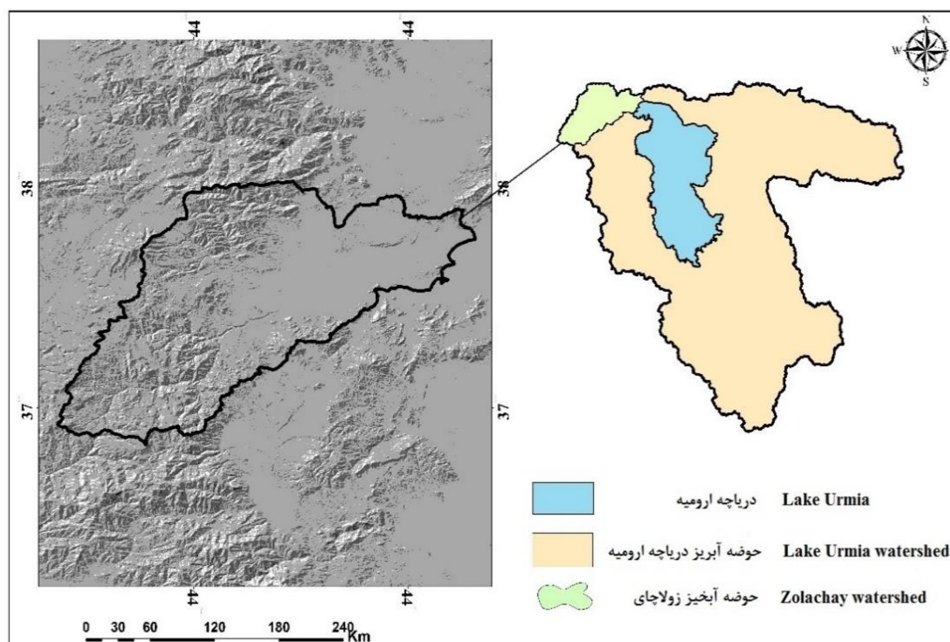
روش‌های شیءگرا، مجموعه‌هایی از پیکسل‌های نسبتاً مشابه عارضه مشخصی را نشان می‌دهند. بنابراین، مجموعه پیکسل‌های مشابه تحت یک عنوان شناسایی شده و سپس عملیات طبقه‌بندی و فرآیندهای تقسیم‌بندی بر روی این مجموعه اعمال می‌شود (Rasouli, 1999). در این بخش از پژوهش به بررسی و مرور نتایج انجام شده، به چند نمونه بارز در خارج از کشور و ایران اشاره می‌گردد. مونسالی و همکاران (Munthali et al., 2019)، با استفاده از شبکه سلول خودکار مارکوف، تغییرات کاربری اراضی مالاوی برای بازه زمانی ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۵ با ترکیب اطلاعات GIS و سنجش از دور پیش‌بینی کرد. نتایج نشان دادند کاهش مساحت جنگل‌ها به نسبت ۶۴ درصد از بیشترین تغییرات است. همچنین در پژوهشی دیگر ایگو و همکاران (Igué, Houndagba, Gaiser & Stahr, 2022)، با استفاده از روش شیءگرا، نقشه کاربری اراضی حوضه‌های اویم و اونین با دقت کلی ۸۷ درصد تهیه شد و به عنوان کارآمدترین روش معرفی گردید. همچنین وصلتی و همکاران (Weslati, Bouaziz & Sarbeji, 2023)، در پژوهش با استفاده از سنجش از دور و مدل CA-Markov، تغییرات مکانی-زمانی آینده کاربری زمین در حوضه آبریز ملگو مدل‌سازی و ارزیابی شد. نتایج نشان دادند که تغییرات قابل توجهی در LULC در آینده پیش‌بینی می‌شود. همچنین هرسی و همکاران (Hersi, Mulungu & Nobert, 2024)، با استفاده از نرم‌افزار eCognition و داده‌های سنجش از دور، تغییرات LULC در حوضه باهی تانزانیا ارزیابی شد. از SVM برای طبقه‌بندی تصاویر Landsat استفاده شد و مدل زنجیره مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات آینده در BMC مورداستفاده قرار گرفت. نتایج نشان دادند که افزایش زمین‌های کشاورزی و عمرانی باعث کاهش جنگل‌ها و مناطق مرتفع خواهد شد. این یافته‌ها برای مدیریت حوضه و فهم تأثیر LULC بر فرآیندهای هیدرولوژیکی ارزشمند هستند. همچنین در ایران محرمی و همکاران (Moharrami, Rasuly & Rostamzadeh, 2016)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat و تکنیک‌های شیءگرای بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۵، تأثیرات پس‌روی دریاچه ارومیه بر روستاهای ساحل شرقی مورد بررسی قرار گرفت. از روش‌های شیءگرا برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و استخراج کاربری‌های موردنظر استفاده شد. سپس با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، وضعیت آتی در منطقه پیش‌بینی شد. نتایج نشان دادند که دریاچه ارومیه کاهش یافته و سطح باغات، نمک‌های مرطوب، پهنه‌های گلی-نمکی، اراضی کشاورزی، و نمک‌های جدید در بازه زمانی مورد مطالعه افزایش یافته‌اند. همچنین در پژوهش عبیات و همکاران (Abiyat, Attar Roshan & Abiyat, 2020)، در ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پوشش‌گیاهی در اهواز، از مدل LCM و زنجیره CA مارکوف با طبقه‌بندی شیءگرا استفاده شد. نتایج نشان داد که پوشش‌گیاهی کاهش یافته، با بیشترین تغییرات مرتبط با تبدیل به نواحی ساخته شده و تغییرات کمتر مرتبط با تبدیل به پهنه‌آبی است. پیش‌بینی‌ها نیز نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۲۹، سطح پوشش‌گیاهی احتمالاً کاهش خواهد یافت. عابدینی و همکاران (Abedini, Pasban & Nezafat Taklhe, 2023)، با استفاده از روش شیءگرا، نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز نیرچای در استان اردبیل تهیه شد. نتایج حاکی از صحت کلی ۹۹ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۸ درصد در طبقه‌بندی با الگوریتم نزدیکترین همسایه باشد. همچنین ایرانی و همکاران (Irani, Abghari & Rasouli, 2024)، به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پردازش شی‌گرا و زنجیره مارکوف در حوضه آبخیز گدار چای پرداختند. نتایج نشان داد روش‌های دانش پایه و شی‌گرا از دقت بالایی برخوردار است و مدل مارکوف نیز کارایی مناسبی در مطالعه تغییرات کاربری اراضی از خود نشان داد. طی چند سال گذشته، یکی از علل خشکی دریاچه ارومیه استفاده بیش از حد از منابع آب سطحی و زیرزمینی بوده است. یکی از دلایل اصلی این استفاده بی‌رویه، تغییر کاربری اراضی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. هدف اصلی این پژوهش، بررسی دقیق و جامع تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز زولاچای، یکی از زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه، طی دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ و پیش‌بینی این تغییرات تا سال ۲۰۳۰ است. این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 با تفکیک مکانی ۱۰ متر و به‌کارگیری روش‌های پیشرفته پردازش تصاویر ماهواره‌ای، به تحلیل روندهای مکانی-زمانی کاربری اراضی در این منطقه می‌پردازد.

پژوهش حاضر با هدف ارائه دقیق تغییرات کاربری اراضی در این حوضه و تأثیرات احتمالی آن در آینده، به دنبال ارائه اطلاعاتی برای مدیریت بهینه منابع طبیعی و برنامه‌ریزی محیط‌زیستی است. بررسی گذشته و پیش‌بینی آینده کاربری اراضی در حوضه آبخیز زولاچای می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مهم برای تصمیم‌گیری‌های مرتبط با حفظ و احیای محیط‌زیست دریاچه ارومیه و مناطق اطراف آن مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز زولاچای در بخش شمال‌غربی دریاچه‌ی ارومیه واقع شده است و زیرحوضه از حوضه‌ی آبخیز دریاچه‌ی ارومیه می‌باشد. حدود جغرافیایی آن، بین ´۴۴°۱۳ تا ´۴۵°۲۹ طول شرقی و ´۳۷°۵۲ تا ´۳۷°۲۴ عرض شمالی قراردارد، وسعت این حوضه ۲۲۵۸ کیلومترمربع می‌باشد. رودخانه زولاچای یکی از رودخانه‌های دایمی شهرستان سلماس می‌باشد. رودخانه زولاچای از قلعه‌های قره‌داش و ساری‌داش با ارتفاع ۲۴۳۰ و ۳۰۹۷ متر از سطح دریا از مرز مشترک ایران و ترکیه سرچشمه می‌گیرد. به‌علت پیوستن آب چشمه‌ها و جویبارها و شاخه‌های فرعی دیرعلی سو، دریک‌چای، سرخلان به میزان آن افزوده می‌شود. این رودخانه در طی مسیر از کنار روستاهای مجاور عبور کرده و سرانجام در شمال غربی دریاچه ارومیه و جنوب قریه کنگرلو به دریاچه می‌ریزد (Nazar Neghad, Hosseine & Mostafazadeh, 2020). موقعیت محدوده مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز زولاچای- دریاچه ارومیه

Fig. 1. Geographical location of the Zolachay–Lake Urmia watershed

روش تحقیق

با هدف تولید نقشه‌های کاربری‌اراضی در تحقیق حاضر از تصاونر ماهواره‌ای Landsat 5,7 و Sentinel 2، با تفکیک مکانی ۳۰ و ۱۰ متری و دارا بودن محدوده طیف‌های متنوع استفاده گردید. اطلاعات تصاویر مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱– اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در مطالعه تغییر و پیش‌بینی کاربری

Table 1- Satellite image information used for land use change and prediction study

ماهواره Satellite	سنجنده Sensor	مسیر/ردیف Path/Row	بازه زمانی Time	دقت مکانی (متر) Resolution(m)
Landsat 5	TM	169: 33-34	1990.06.02	30
Landsat 5	TM	169: 33-34	1995.06.15	30
Landsat 7	ETM+	169: 33-34	2000.06.03	30
Landsat 7	ETM+	169: 33-34	2005.06.19	30
Landsat 7	ETM+	169: 33-34	2010.06.10	30
Sentinel 2	MSI	T38SMG, SMH	2016.06.23	10.20.60
Sentinel 2	MSI	T38SMG, SMH	2020.06.20	10.20.60
Sentinel 2	MSI	T38SMG, SMH	2023.06.22	10.20.60

پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در این پژوهش، پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور اطمینان از دقت و کیفیت داده‌های ورودی برای تحلیل‌های بعدی با دقت و جزئیات انجام شده است. ابتدا تصاویر ماهواره‌ای Landsat و Sentinel-2 با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS و ENVI به فرمت‌های مناسب برای پردازش‌های بعدی تبدیل و آماده‌سازی شدند.. در ادامه، با توجه به اینکه تصاویر Level-2 ماهواره Landsat از پیش تصحیح شده بودند، نیازی به اعمال تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری اضافی نبود، اما برای اطمینان از کیفیت داده‌ها، بررسی‌های دقیق و حذف نویزها انجام گرفت. در خصوص تصاویر Sentinel-2، تصحیحات اتمسفری با استفاده از الگوریتم Sen2Cor صورت گرفت تا تأثیرات جوی کاهش یابد و دقت تحلیل‌ها افزایش یابد. برای پوشش کامل منطقه مورد مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای مربوط به محدوده‌های مختلف جغرافیایی به‌صورت موزاییکی ادغام شدند. این فرآیند با دقت بالا انجام شد تا از ترکیب صحیح تصاویر و انطباق درست موقعیت‌های جغرافیایی اطمینان حاصل شود. پس از موزاییک‌سازی، تصاویر به ابعاد و محدوده جغرافیایی مورد نظر برش داده شدند. یکی از مشکلات مهم در پردازش تصاویر Landsat 7، وجود خطوط (Stripe) ناشی از خرابی ابزار تصحیح خطوط اسکن در سال ۲۰۰۳ بود. این خطوط که می‌توانستند تحلیل‌ها را مختل کنند، با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته در نرم‌افزارهای ArcGIS و ENVI شناسایی و حذف شدند. برای رفع این مشکل از تکنیک Gap-Filling استفاده شد تا تصاویر به شکلی بدون خطا و با کیفیت بالا برای تحلیل‌های بعدی آماده شوند. مجموعه این مراحل پیش‌پردازش، داده‌های ماهواره‌ای را به شکل مناسب برای تحلیل‌های مکانی-زمانی و بررسی تغییرات کاربری اراضی آماده ساخت، به‌گونه‌ای که نتایج به‌دست‌آمده از این تحلیل‌ها از بیشترین دقت برخوردار باشند.

پردازش تصاویرماهواره‌ای

پس از ورود تصاویر، ترکیب باندی برای تصاویر سری لندست ۷، ۴، ۲، ۳ و۵ و برای تصاویر Sentinel 2 ترکیبی باندی ۲،۳،۴،۸ و۱۱ انجام گردید. سپس سگمنت‌سازی تصاویر، اعمال شروط، وزن‌دهی به باندها، ویراستاری شی‌های تصویر، طبقه‌بندی اراضی‌زمین

به روش NNC[1]، تولید نقشه‌های پوشش‌زمین و کاربری‌اراضی در محیط نرم‌افزار eCognition Developer 9.5 انجام گردید. در نرم‌افزارeCognition Developer 9.5، هر طبقه‌بندی دارای مراحل مختلف است. این مراحل عموماً به صورت سگمنت‌سازی، نمونه‌برداری و طبقه‌بندی انجام می‌شوند. در مرحله سگمنت‌سازی، تصویر ورودی به بخش‌های کوچکتر (سگمنت‌ها) تقسیم می‌شود تا ویژگی‌های مشابه در هر سگمنت تجمع یابند. سپس در مرحله نمونه‌برداری، نمونه‌هایی از هر سگمنت استخراج می‌شوند که نماینده ویژگی‌های آن سگمنت هستند. در نهایت، در مرحله طبقه‌بندی، با استفاده از الگوریتم‌های مختلف، سگمنت‌ها بر اساس ویژگی‌های مشترک آن‌ها به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. به‌همین منظور یرای سگمنت‌سازی، مقدار ۵۶، ۰/۳ و ۰/۷ به‌ترتیب برای پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی مطلوب بودن در نظر گرفته شد.

براساس هدف پژوهش که آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی است، با توجه به شناخت از منطقه مورد مطالعه و تصاویر Google Earth و نقاط تعلیمی برداشته شده بوسیله GPS، کلاس‌های کاربری براساس کاربری پهنه‌آبی، مناطق مسکونی، مرتع، نمکزار، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم و خاک تقسیم‌بندی شد. طبقه‌بندی تصویر با روش شیءگرا از الگوریتم نزدیکترین همسایه NNC استفاده شد و متناسب با خصوصیات بصری نمونه برای هر کدام از کلاس‌ها انتخاب، و شرایط طبقه‌بندی برای هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی تعریف شد. نقشه‌های کاربری اراضی برای ۸ دوره با روش شیءگرا استخراج گردید، مساحت کاربری‌ها طبقه‌بندی شده محاسبه گردید. در مرحله بعد پیش‌بینی تغییرات کاربری به کمک مارکوف و CA-مارکوف انجام شد.

پیش‌بینی روند تغییرات با مدل زنجیره مارکوف

با بهره‌گیری از توانایی الگوریتم تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، از این مدل برای پیش‌بینی کاربری و پوشش سطح زمین در آینده استفاده می‌شود. این مدل با تجزیه و تحلیل یک جفت از نقشه‌های کاربری اراضی، با بهره‌گیری از زنجیره مارکوف، ماتریس احتمال انتقال (Transition Probabilities)، ماتریس مساحت انتقال یافته (Transition Areas) و چند تصویر احتمال شرطی، طراحی شد. براساس تعداد کاربری‌ها، ماتریس احتمال انتقال بیان می‌کند که هر کدام از کاربری‌ها با چه احتمالی به کاربری دیگری منتقل می‌شوند (Mirakhorlo & Rahimzadegan, 2018)، این مدل با ایجاد یک ماتریس انتقال احتمال تغییرات کاربری بین سال اول و دوم پیش‌بینی آینده را انجام داد. محاسبه پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی از طریق رابطه (۱) بدست آمد:

$$S = (T_0 + T_1) = Pij * S(t) \qquad (۱)$$

که در آن، S(t) وضعیت کاربری سال اول (T_0) و (T_1) وضعیت کاربری زمان دوم را نشان می‌دهد و Pij ماتریس احتمال انتقال می‌باشد (Hamad, Balzter & Kolo, 2018).

اساس تولید ماتریس احتمال انتقال استفاده از شرایط کاربری اراضی قبلی برای پیش‌بینی بود که از رابطه (۲) استفاده شد:

$$Pij = \begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} \cdots p_{1n} \\ p_{1n} & p_{2n} \cdots p_{nn} \end{vmatrix} \left(0 \le Pij \ge 1\right) \qquad (۲)$$

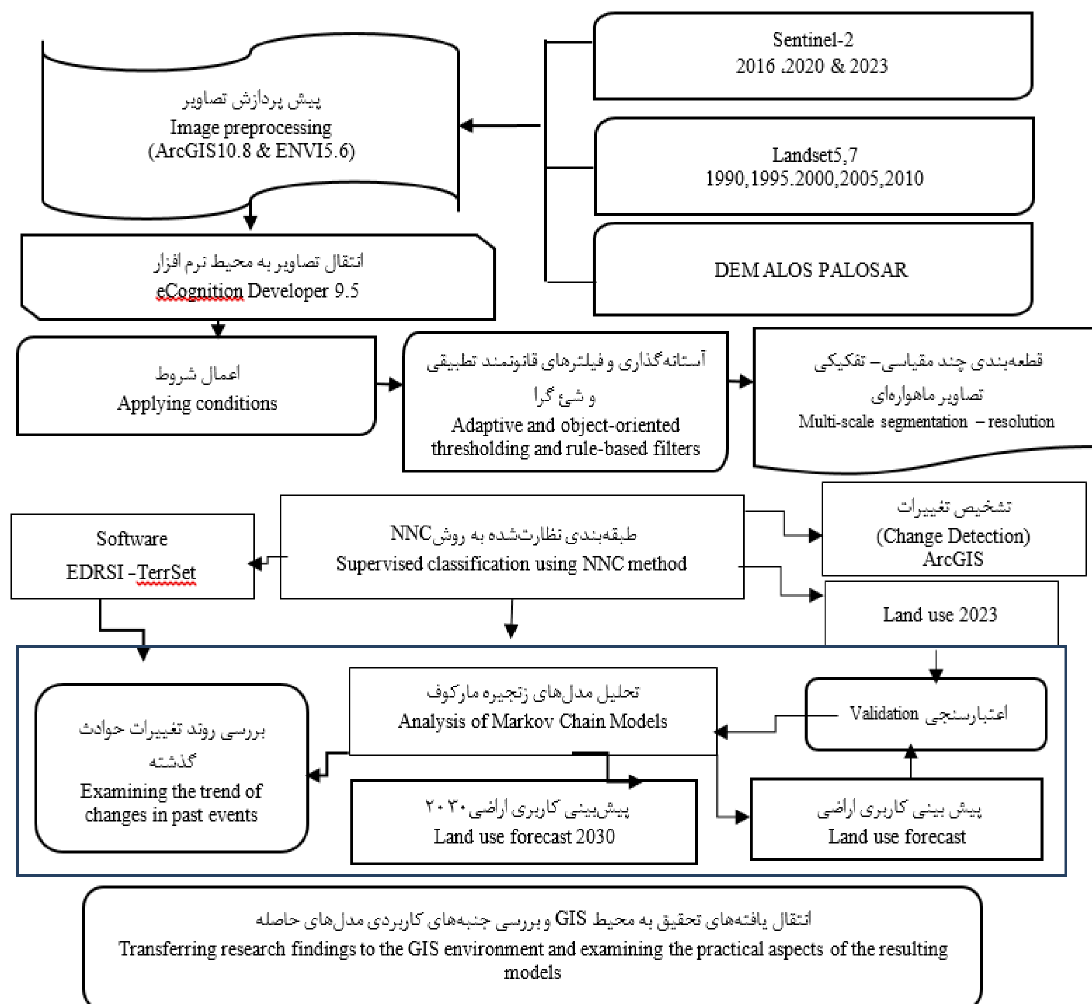
که در آن، P_{ij} ضریب احتمال انتقال کاربری‌ها را از اولین سال (i) تا دومین سال (j) نشان می‌دهد (Mirakhorlo & Rahimzadegan, 2018). جهت تولید نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی۲۰۲۳ از نقشه کاربری اراضی تولید شده ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ در نرم افزار eCognition استفاده گردید. ابتدا برای تهیه ماتریس احتمال انتقال و ماتریس مساحت انتقال به‌وسیله مدل مارکوف، جهت صحت‌سنجی نقشه پیش‌بینی استفاده شد. تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ ورودی مدل مارکوف بوده، فاصله زمانی بین این دو تصویر ۴ سال و فاصله زمانی پیش بینی ۳ سال می‌باشد.

1- Nearest Neighbour Classify

در نهایت، برای سنجیدن مدل CA مارکوف با استفاده از ابزار Validate نقشه طبقه‌بندی ۲۰۲۳ و نقشه پیش‌بینی ۲۰۲۳ استفاده شد و بعد از اطمینان از دقت بالای مدل پیش‌بینی برای سال ۲۰۳۰ انجام شد.

پس‌پردازش تصاویرماهواره‌ای

در این پژوهش، پس از فرمت‌سازی تصاویر طبقه‌بندی شده و ارزش‌گذاری کلاس‌های کاربری اراضی، محاسبات زنجیره مارکوف با اســتفاده از توابع ترکیبی در نرم‌افزار TerrSet 2020 انجام شــد. ســپس، لایه‌های پیش‌بینی کاربری اراضـ ی تولید و نتایج نهایی ارزیابی گردید. این نتایج برای تحلیل‌های تکمیلی به سایر نرم‌افزارها منتقل شدند. در ادامه، لایه‌های رقومی وارد نرم‌افزار ArcGIS 10.8 شـده و تحلیل‌های هدفمند و ترکیب لایه‌ها انجام گرفت و نتایج نهایی اسـتخراج گردید. فرآیند کلی انجام تحقیق در شـکل ۲ ارائه شده است.



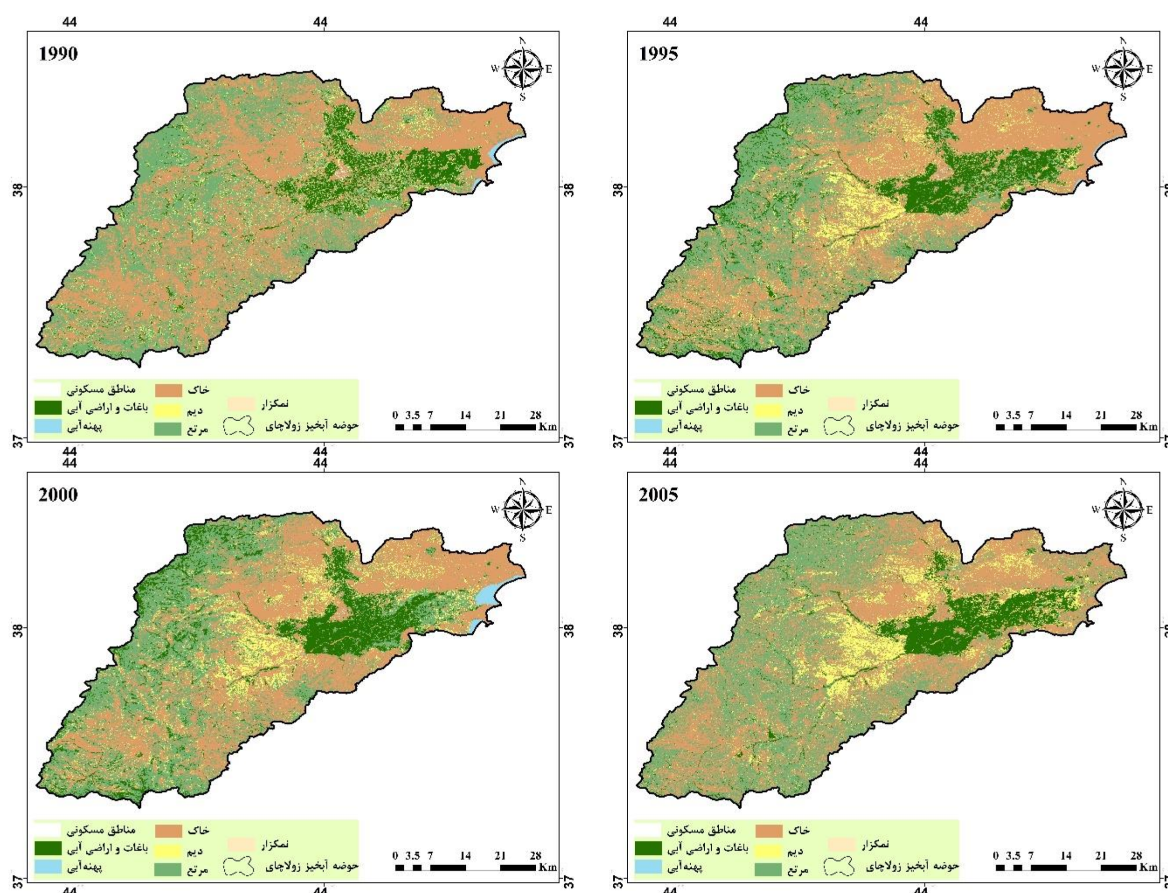
شکل ۲- نمودار جریانی مراحل انجام تحقیق

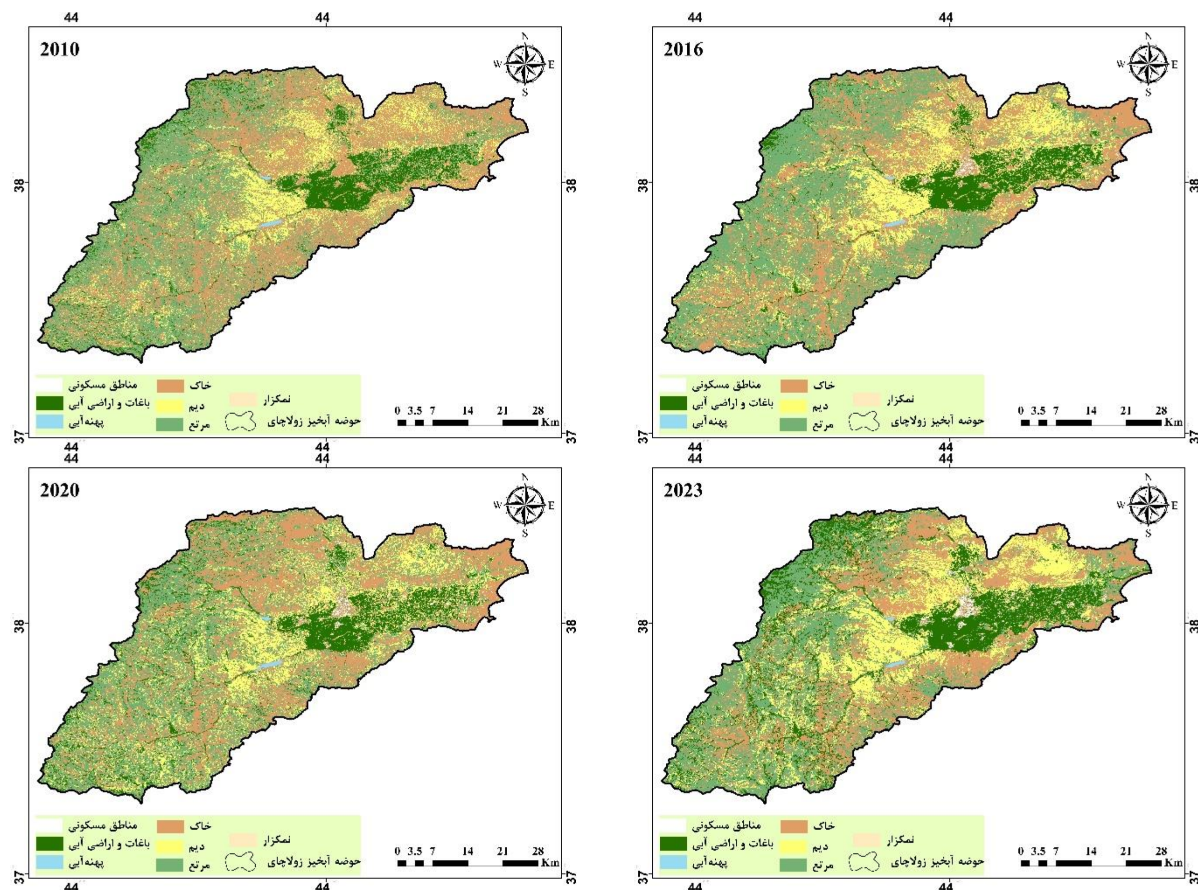
Fig.2. Flowchart of Research Methodology Steps

نتایج و بحث

پردازش تصاویر به روش‌های شیءگرا، ابتدا پیکسل‌های تصاویر ماهواره‌ای براساس میزان بازتابش، شکل، تراکم و سایر ارزش‌های زمین-آماری با اعمال الگوریتم سگمنت‌سازی (Segmentation) به قطعه‌های مشابه تبدیل گردید. در مرحله پردازش، پس از ورود داده‌ها و تصاویر، در این پژوهش یرای سگمنت‌سازی، مقدار ۵۶، ۰/۳ و ۰/۷ به ترتیب برای پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی مطلوب بودن در نظر گرفته شد. بعد از مرحله‌ی سگمنت‌سازی برای تصاویر سری Landsat ترکیب باندی ۷، ۴، ۲، ۳ و۵ و برای تصاویر Sentinel 2 ایجاد ترکیبی باندی ۲، ۳ ،۴، ۸ و ۱۱ استفاده گردید.

طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش NNC در هفت کاربری پهنه‌آبی، خاک، باغات و اراضی‌آبی، اراضی دیم، نمکزار، مرتع و مسکونی، نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۳ تهیه شد و مساحت هر کاربری محاسبه شد. نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۳ در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در سال ۱۹۹۰، مساحت کاربری‌های پهنه‌آبی، خاک (اراضی کمتر از ۵ درصد پوشش)، باغات و اراضی‌آبی، اراضی دیم، نمکزار، مرتع و مناطق مسکونی به‌ترتیب ۸/۱، ۱۰۸۲/۳۴، ۱۸۸/۷۴، ۱۵۷/۶۱، ۰/۱۲، ۸۱۷/۵۷، ۳/۷۸ کیلومترمربع و در سال ۲۰۲۳ مساحت پهنه‌آبی، خاک، باغات و اراضی‌آبی، اراضی دیم، نمکزار، مرتع و مناطق مسکونی به ترتیب ۲/۹۷، ۶۴۴/۵۶، ۴۰۹/۶۶، ۴۵۸/۳۶، ۰/۲، ۷۲۴/۵۲ و ۱۸/۰۶ کیلومترمربع محاسبه گردید.





شکل ۳- نقشه کاربری اراضی برای سال‌های مورد بررسی در حوضه آبخیز زولاچای-دریاچه ارومیه

Fig. 3. Land use map for the study years in the Zolachay–Lake Urmia watershed

صحت‌سنجی مدل CA مارکوف

برای صحت سنجی نقشه طبقه‌بندی حوضه آبخیز زولاچای سال ۲۰۲۳ با نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۳، مقایسه گردید. مقادیر Kno، Klocation، Klocationstrata و مقادیر کاپای استاندارد Kstandard به ترتیب برابر با ۰/۸۷ درصد، ۰/۹۳ درصد، ۰/۹۳ درصد و ۰/۸۴ درصد بدست آمدند. با توجه به دقت بالای مدل در پیش‌بینی نقشه تغییرات سال ۲۰۲۳، نقشه تغییرات سال ۲۰۳۰ نیز استخراج گردید. جدول ۲ و ۳ ماتریس مساحت انتقال و ماتریس احتمال انتقال با استفاده از نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ به‌دست آمد. ماتریس مساحت انتقال ۲۰۲۰-۲۰۱۶ به‌عنوان ورودی به مدل CA معرفی شد تا نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۳ حوضه آبخیز زولاچای به‌دست آید.

براساس نتایج حاصل از جدول۳، ۲/۸۱ کیلومترمربع از پهنه‌آبی در سال ۲۰۱۶ در سال ۲۰۲۰ در همان کاربری پهنه آبی باقی خواهد ماند. هم‌چنین، ۰/۷ کیلومترمربع از پهنه‌آبی به کاربری خاک، ۰/۲۹ به کاربری باغات و اراضی آبی، ۰/۳۶ کیلومترمربع به کاربری مرتع، ۰/۱۹ به کاربری دیم، مناطق مسکونی ۰/۰۱ و ۰/۰۱ به نمکزار در سال ۲۰۲۰ تبدیل خواهد شد.

جدول۲- ماتریس مساحت انتقال یافته تغییر کاربری ۲۰۲۰-۲۰۱۶ با استفاده مدل زنجیره‌ی مارکوف بر حسب km^2

Table 2- Land use change area transition matrix (2016–2020) based on Markov Chain model (in km²)

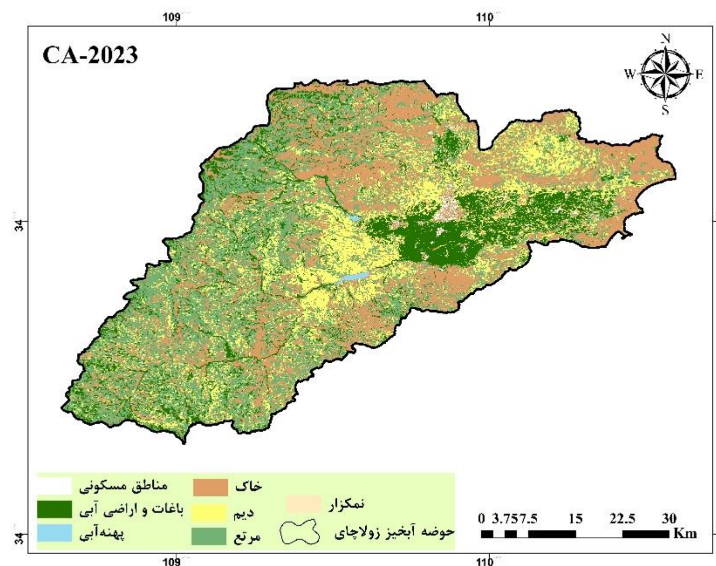
کاربری اراضی Land use	پهنه آبی Water Bodies	خاک Soil	باغات و اراضی آبی Orchards and Irrigated Lands	مناطق مسکونی Residential Areas	مرتع Rangeland	دیم Dry Farming	نمکزار Salt Flats
پهنه آبی Water Bodies	2.81	0.70	0.29	0.01	0.36	0/19	0/01
خاک Soil	1/61	490/96	116/52	8/02	529/03	322/05	21/40
باغات و اراضی آبی Orchards and Irrigated Lands	0/16	75/43	201/04	0/90	116/19	68/09	0/62
مناطق مسکونی Residential Areas	0/02	7/65	0/89	0/89	5/29	3/35	0/90
مرتع Rangeland	0/66	510/31	196/21	5/54	537/56	338/03	7/51
دیم Dry Farming	0/47	288/93	74/82	4/01	335/79	229/45	3/71
نمکزار Salt Flats	0/02	23/01	0/98	0/85	8/24	4/69	33/40

جدول۳- ماتریس احتمال انتقال پیش‌بینی‌شده برای ۲۰۲۳ با استفاده از طبقه‌بندی ۲۰۲۰-۲۰۱۶ بر حسب درصد

Table 3- Predicted transition probability matrix for 2023 based on 2016–2020 classification (in %)

کاربری اراضی Land use	پهنه آبی Water Bodies	خاک Soil	باغات و اراضی آبی Orchards and Irrigated Lands	مناطق مسکونی Residential Areas	مرتع Rangeland	دیم Dry Farming	نمکزار Salt Flats
پهنه آبی Water Bodies	64/49	16/1	6/6	0/1	8/2	4/3	0/2
خاک Soil	0/11	32/9	7/8	0/5	35/5	21/6	1/4
باغات و اراضی آبی Orchards and Irrigated Lands	0/03	16/3	43/5	0/2	25/1	14/7	0/1
مناطق مسکونی Residential Areas	0/10	40/2	4/7	4/7	27/8	17/6	4/8
مرتع Rangeland	0/04	32/0	12/3	0/4	33/7	21/2	0/5
دیم Dry Farming	0/05	30/8	8/0	0/4	35/8	24/5	0/4
نمکزار Salt Flats	0/03	31/1	1/3	1/2	11/1	6/3	45/1

با توجه به نتایج جدول۳، ۶۴/۴۹ درصد از کاربری پهنه‌آبی در سال ۲۰۱۶ در همان کاربری پهنه‌آبی در سال ۲۰۲۳ باقی خواهد ماند. همچنین ۱۶/۱ درصد، ۶/۶ درصد، ۰/۱ درصد، ۸/۲ درصد ۴/۳ درصد و ۰/۲ از کاربری پهنه‌آبی در سال ۲۰۱۶ به کاربری‌های خاک، باغات و اراضی آبی،مناطق مسکونی، مرتع، دیم و نمکزار تبدیل خواهد شد. در این ماتریس ردیف‌ها نشان‌دهنده سال شروع ۲۰۱۶ و ستون‌ها نشان‌دهنده سال پایان ۲۰۲۳ می‌باشد. خروجی مدل مارکوف (ماتریس مساحت انتقال) به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل CA مارکوف به مدل معرفی شد. علاوه بر ماتریس مساحت انتقال نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی ۲۰۱۶ به‌عنوان تصویر پایه و تعداد دوره پنج سال به‌عنوان ورودی به مدل تعریف شد و نقشه پیش‌بینی ۲۰۲۳ شکل ۴ تهیه شد.



شکل ۴- نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۲۳

Fig. 4. Predicted land use map for the year 2023

پس از ایجاد نقشه‌های کاربری اراضی، انجام کنترل دقت و صحت آن‌ها، برای پیش‌بینی تغییرات از مدل مارکوف و مدل CA مارکوف استفاده شد. در ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل CA مارکوف تغییرات آینده، از ضریب کاپا نشان‌دهنده میزان دقت پیش‌بینی مدل است، مقدار این ضریب بین صفر و ۱ می‌باشد، مقدار نزدیک به یک به معنای دقت بالاتر پیش‌بینی مدل است استفاده گردید. برای حوضه آبخیز زولاچای دقت ۰/۹۱ به‌دست آمد. که نشان‌دهنده دقت بالای مدل می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج یرساو و همکاران (Yirsaw, Wu, Shi, Temesgeh & Bekele, 2017) در مطالعه‌ای مدل‌سازی پیش‌بینی تغییرات وتغییرکاربری اراضی در منطقه ساحلی سو-شی-چانگ Su-Xi-Chang کشور چین، ضریب کاپا برابر با ۰/۹۱ به‌دست آورد. که بیانگر دقت بالای مدل CA مارکوف در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در آینده می‌باشد مطابقت دارد. برای محاسبه ماتریس مساحت انتقال، ابتدا از مدل مارکوف تصاویر طبقه‌بندی سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ استفاده شد. تا ماتریس مساحت انتقال ایجاد شده و به‌عنوان ورودی به مدل CA مارکوف برای پیش‌بینی سال ۲۰۳۰ معرفی شود. فاصله زمانی بین دو تصویر ۷ سال و فاصله زمانی برای پیش‌بینی در سال ۲۰۳۰، نیز ۷ سال در نظر گرفته شد. در پژوهش حاضر ماتریس مساحت انتقال ۲۰۲۳-۲۰۱۶، نقشه پایه ۲۰۲۳ و تعداد کل تکرارها به‌عنوان ورودی‌های مدل CA مارکوف بود. در این پژوهش تعداد دوره‌ها ۷ سال انتخاب شد. ماتریس مساحت انتقال و ماتریس مساحت احتمال انتقال جدول ۴ و ۵ با استفاده از نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ به‌دست آمد.

جدول ۴- ماتریس مساحت انتقال یافته تغییر کاربری ۲۰۲۳-۲۰۱۶ با استفاده مدل زنجیره‌ای مارکوف بر حسب km2

Table 4- Land use change area transition matrix (2016–2023) based on Markov Chain model (in km²)

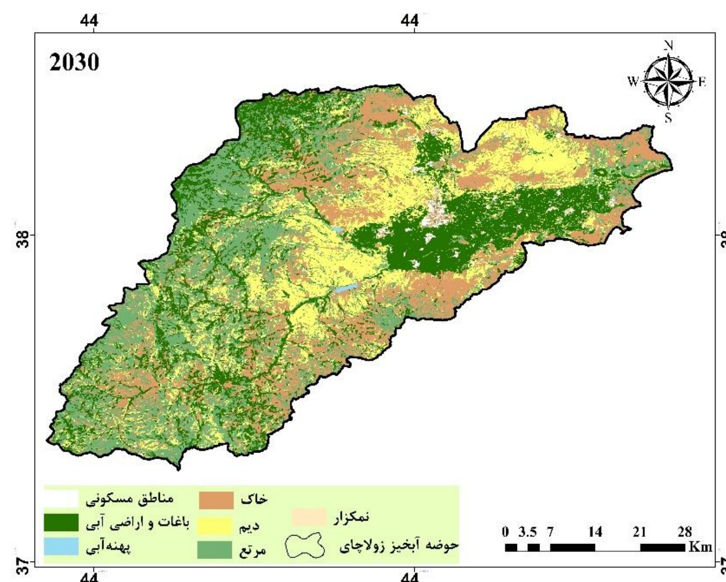
کاربری اراضی Land use	پهنه آبی Water Bodies	خاک Soil	باغات و اراضی آبی Orchards and Irrigated Lands	مناطق مسکونی Residential Areas	مرتع Rangeland	دیم Dry Farming	نمکزار Salt Flats
پهنه آبی Water Bodies	3/39	0/95	0/32	0/02	0/24	0/02	0/00
خاک Soil	0/61	615/20	117/50	15/16	339/48	269/49	6/51
باغات و اراضی آبی Orchards and Irrigated Lands	1/20	19/52	503/25	5/90	117/79	38/36	0/15
مناطق مسکونی Residential Areas	0/01	18/39	1/22	14/48	7/04	6/06	1/33
مرتع Rangeland	0/75	368/57	180/20	11/23	569/70	231/05	0/46
دیم Dry Farming	0/40	173/67	84/70	13/85	226/74	560/81	0/13
نمکزار Salt Flats	0/00	18/07	1/13	0/17	7/22	0/01	38/26

جدول ۵- ماتریس احتمال انتقال پیش‌بینی‌شده برای ۲۰۳۰ با استفاده از طبقه‌بندی ۲۰۲۳-۲۰۱۶ برحسب درصد

Table 5- Predicted transition probability matrix for 2030 based on 2016–2023 classification (in %)

کاربری اراضی Land use	پهنه آبی Water Bodies	خاک Soil	باغات و اراضی آبی Orchards and Irrigated Lands	مناطق مسکونی Residential Areas	مرتع Range land	دیم Dry Farming	نمکزار Salt Flats
پهنه آبی Water Bodies	68/59	19/2	6/4	0/4	5/0	0/5	0/0
خاک Soil	0/04	45/1	8/6	1/1	24/9	19/8	0/5
باغات و اراضی آبی Orchards and Irrigated Lands	0/17	2/8	73/3	0/9	17/2	5/6	0/0
مناطق مسکونی Residential Areas	0/01	37/9	2/5	29/8	14/5	12/5	2/7
مرتع Rangeland	0/05	27/1	13/2	0/8	41/8	17/0	0/0
دیم Dry Farming	0/04	16/4	8/0	1/3	21/4	52/9	0/0
نمکزار Salt Flats	0/00	27/8	1/8	0/3	11/1	0/0	58/9

براساس نتایج حاصل از جدول ۴، ۳/۳۹ کیلومترمربع از کاربری پهنه‌آبی در سال ۲۰۱۶ در سال ۲۰۲۳ در همان کاربری پهنه‌آبی باقی خواهد ماند. همچنین، ۰/۹۵ کیلومترمربع از کاربری پهنه‌آبی به خاک، ۰/۰۲ کیلومترمربع به کاربری مسکونی، ۰/۳۲ کیلومترمربع به کاربری باغات و اراضی آبی، ۰/۲۴ کیلومترمربع از کاربری پهنه‌آبی به مرتع و ۰/۰۲ کیلومترمربع به کاربری دیم در سال ۲۰۲۳ تبدیل خواهد شد. با توجه به نتایج جدول۵، ۶۸/۵۹ درصد از کاربری پهنه آبی در سال ۲۰۱۶ در همان کاربری پهنه آبی در سال ۲۰۳۰ باقی خواهد ماند. هم‌چنین، ۱۹/۲ درصد، ۶/۴ درصد، ۰/۴ درصد، ۵ درصد و ۰/۵ درصد از کاربری پهنه‌آبی در سال ۲۰۱۶ به کاربری‌های اراضی خاک، باغات و اراضی آبی، مسکونی، مرتع و کشاورزی دیم تبدیل خواهد شد. در این ماتریس ردیف‌ها نشان‌دهنده سال شروع ۲۰۱۶ و ستون‌ها نشان‌دهنده سال پایان ۲۰۳۰ می‌باشد. خروجی مدل مارکوف ماتریس مساحت انتقال به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل CA مارکوف به مدل معرفی شد. علاوه بر ماتریس مساحت انتقال نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی ۲۰۲۳ به‌عنوان تصویر پایه، تعداد دوره ۷ سال به‌عنوان ورودی به مدل تعریف شد و نقشه پیش‌بینی ۲۰۳۰ تهیه شد. در تهیه نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۳۰ از ماتریس مساحت انتقال و ماتریس احتمال انتقال به‌دست آمده سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۱۶ استفاده شد. در بازه زمانی سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۱۶ بیش‌ترین مساحت انتقال در کاربری‌های ذکرشده به‌ترتیب مربوط به خاک،دیم، باغات و اراضی آبی، مرتع، مسکونی، پهنه‌آبی و نمکزار بود. ماتریس مساحت انتقال، میزان تغییر در تعداد پیکسل‌ها را از یک کلاس کاربری به کلاس دیگر در دوره مشخص را نشان می‌دهد. دلیل بالا بودن مساحت انتقال در کاربری خاک و مرتع را می‌توان افزایش اراضی آبی و باغات و کشاورزی دانست. نتایج نشان می‌دهد که مساحت کاربری‌های کشاورزی به سرعت افزایش پیدا کرده است به‌طوری‌که مساحت کاربری کشاورزی آبی از ۸/۳۶ درصد و دیم ۶/۸۹ کل مساحت حوضه در سال ۲۰۱۶ به بیش ۲۳/۳۹ درصد و ۲۱/۴۶ درصد در سال ۲۰۳۰ افزایش پیدا خواهد کرد. و هم‌چنین مساحت کاربری مرتع و خاک به‌ترتیب ۳۶/۲۰ و ۴۷/۹۳ درصد کل مساحت حوضه در سال ۲۰۱۶ به ۲۹/۷ و ۲۴/۲۵ درصد در سال ۲۰۳۰ کاهش پیدا خواهد کرد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج کنگابام و همکاران (Kangabam, Selvaraj & Govindaraju, 2019) در ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی در دلتای نیل مصر طی ۲۸ سال، نشان دادند که گسترش مداوم مناطق کشاورزی و شهری باعث کاهش در پهنه‌آبی و مراتع شده است مطابقت دارد. نقشه کاربری پیش‌بینی شده سال ۲۰۳۰ به روش CA مارکوف با ضریب کاپا ۰/۹۴ تهیه گردید، که در شکل ۵ ارائه شده است.



شکل ۵- نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۳۰

Fig. 5. Predicted land use map for the year 2030

آشکارسازی تغییرات برای درک تغییرات منطقه، گسترش و کاهش مساحت کلاس‌ها در سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۶، ۲۰۲۰، ۲۰۲۳ و ۲۰۳۰ به کیلومترمربع در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- مساحت کاربری اراضی به کیلومترمربع

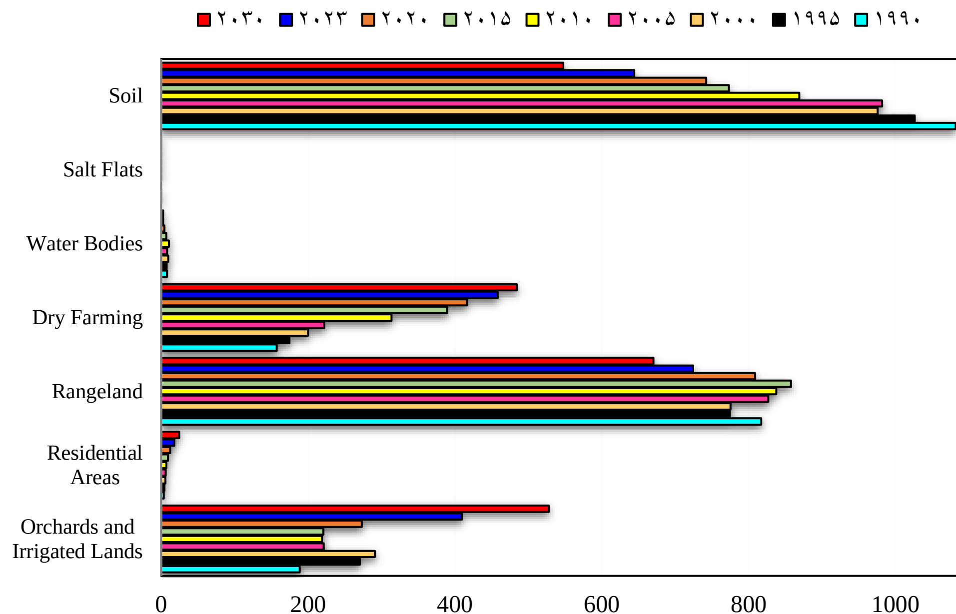
Table 6- Land use area (km²)

کاربری اراضی Land use	**Area (Km^2) (کیلومترمربع) مساحت**								
	1990	**1995**	**2000**	**2005**	**2010**	**2016**	**2020**	**2023**	**2030**
باغات و اراضی آبی Orchards and Irrigated Lands	188/74	270/46	291/06	221/30	219/41	221/11	273/16	409/66	528/18
مناطق مسکونی Residential Areas	3/78	4/54	5/82	6/03	7/16	9/08	12/39	18/06	24/36
مرتع Rangeland	817/57	774/52	775/63	826/78	838/07	857/95	809/19	724/52	670/63
دیم Dry Farming	157/61	174/65	200/16	222/19	313/87	389/57	416/45	458/36	484/63
پهنه آبی Water Bodies	8/10	7/57	9/56	8/05	10/38	7/22	4/31	2/97	2/90
نمکزار Salt Flats	0/12	0/06	0/00	0/01	0/15	0/03	0/05	0/20	0/001
خاک Soil	1082/34	1026/5	976/17	982/01	869/35	773/27	742/67	644/56	547/52

باتوجه به جدول شماره ۶ بیشترین تغییرات از کل مساحت حوضه آبخیز زولاچای، مربوط به کلاس اراضی خاک می‌باشد به گونه‌ای که مساحت این کلاس از ۱۰۸۲/۳۴ کیلومترمربع در سال ۱۹۹۰ به ۶۴۴/۵۶ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۳ رسیده است به بیان دقیق‌تر مساحت دو کاربری خاک، پهنه‌آبی و مرتع مقدار کاهشی و اراضی دیم، مسکونی، باغات و اراضی آبی و نمکزار مقدار افزایشی داشته است. و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۳۰ مساحت کاربری خاک، پهنه‌آبی و مرتع، کاهشی و مساحت کاربری مسکونی، باغات و اراضی آبی، دیم و نمکزار، افزایش یابد. در نهایت کاربری‌های اراضی آبی و باغات، دیم، مسکونی، پهنه‌آبی و نمکزار با مساحت ۱۸۸/۷۴، ۱۵۷/۶۱، ۳/۷۸، ۸/۱ و ۰/۱۲ کیلومترمربع کل مساحت در سال ۱۹۹۰ به ۵۲۸/۱۸، ۴۸۴/۶۳، ۲۴/۳۶، ۲/۹ و ۰/۰۰۱ کیلومترمربع کل مساحت در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید. نتایج پژوهش حاضر با نتایج تحقیق فتح‌اللهی رودباری و همکاران (Fathollahi Roudbary, Nasir Ahmadi & Khan Mohamadi, 2018) در پژوهشی در شهرستان نکا به مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل‌ساز تغییر سرزمین پرداختند. ایشان در مطالعه خود از تصاویر ماهواره Landsat استفاده کردند. نتایج حاصل از مطالعه این پژوهشگران نشان داد که در طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۶ اراضی جنگلی ۲۲۹۷ هکتار کاهش داشته و بیش‌ترین تغییرات مربوط به تبدیل اراضی جنگلی به کشاورزی بوده‌است. همچنین نتایج پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی آینده نشان داد که تا سال ۲۰۳۰ مساحت اراضی کشاورزی و مناطق شهری افزایش و مساحت جنگل کاهش می‌یابد، مطابقت دارد. براساس نتایج این پژوهش، افزایش مساحت کاربری‌های کشاورزی، به‌ویژه زمین‌های کشاورزی آبی و باغات در حوضه آبخیز زولاچای، منجر به افزایش مصرف منابع آب خواهد شد. این یافته‌ها با نتایج تحقیق روشنگر و همکاران (Roushangar, Aalami & Gol Mohammadi, 2022) همخوانی دارد که با استفاده از زنجیره مارکوف به بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر مصرف آب کشاورزی در حوضه دریاچه ارومیه طی ۲۰ سال آینده پرداخته‌اند. در آن مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای Landsat در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ به کمک الگوریتم SVM طبقه‌بندی شدند. سپس اطلاعات مربوط به تغییر الگوی کشت و میزان منابع آب ورودی به دریاچه ارومیه محاسبه گردید. با استفاده

از مدل‌های LCM و CA-MARKOV، تغییرات کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که مساحت زمین‌های کشاورزی آبی و باغات از ۱۴۵۰ و ۳۹۵ کیلومترمربع در سال ۲۰۰۰ به ۳۶۰۰ و ۱۶۵۰ کیلومترمربع در سال ۲۰۴۰ افزایش می‌یابد، که این تغییر باعث افزایش نیاز به آب کشاورزی از ۱۵۰۰ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۰۰ به بیش از ۴۱۰۰ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۴۰ خواهد شد. دلیل بالا بودن احتمال انتقال کاربری اراضی آبی و باغات را می‌توان گرایش مردم به سمت درآمدهای حاصل از باغ‌داری و ایجاد باغ در منطقه مورد مطالعه دانست. براساس پیش‌بینی مدل CA مارکوف سطح باغات و کشاورزی آبی در مجاور منابع آبی و نیز در مجاور اراضی کشاورزی آبی موجود افزایش خواهد یافت. که دلیل آن را می‌توان در با توسعه زراعت آبی و استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای و غیره توسط کشاورزان مرتبط دانست. علاوه بر این، دلیل افزایش مساحت باغات را می‌توان علاقه مردم به داشتن باغ شخصی و درآمد ناشی از محصولات باغی دانست.

نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های ابوراس و و همکاران (Aburas, Abdullah, Ramli, Ash'aari & Ahamad, 2018) هم‌خوانی دارد، که پیش‌بینی کرده‌اند در ده سال آینده مساحت اراضی کشاورزی و شهری به دلیل توسعه اقتصادی افزایش خواهد یافت. علاوه بر این، نتایج پژوهش حاضر با مطالعه رسولی و همکاران (Rasouli, Asgarova & Safarov, 2021) نیز تطابق دارد. در این تحقیق، تغییرات کاربری اراضی (LU/LC) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۱ بررسی شد. این مطالعه از تکنیک‌های پیشرفته شیءگرا و مدل‌های زنجیره مارکوف و خودکار سلولی (CA) برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده کرد. نتایج نشان داد که تغییرات عمده‌ای در مراتع و جنگل‌ها به صورت کاهش مساحت و در زمین‌های بایر و رها شده به صورت افزایش قابل توجه وجود دارد. دقت کلی مدل ۰/۹۵ و ضریب کاپا نزدیک به ۹۴٪ بود، که تأیید می‌کند تغییرات قابل توجهی در نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه رخ داده است. روند تغییرات کاربری اراضی در شکل ۶ ارائه شده است.



شکل ۶- روند تغییرات کاربری اراضی به روش شیءگرا

Fig. 6. Land use change trends using object-based method

براساس نتایج حاصل از روند تغییرات کاربری اراضی در پژوهش حاضر، بیش‌ترین تغییرات کاربری مربوط به تبدیل کاربری خاک و مرتع به کل اراضی آبی و باغات، دیم و مسکونی را نشان می‌دهد، که با نتایج بیرهانو و همکاران (Birhanu, Masih, Van Der Zaag, Nyssen & Cai, 2019)، در پژوهشی بر روی حوضه آبریز گومارا[1] اتیوپی نشان دادند در مدت ۲۹ سال در اتیوپی مساحت اراضی کشت شده افزایش یافته و در مقابل مساحت مراتع کاهش یافته است. این تغییرات باعث کاهش حجم آب‌های جاری حوضه آبریز شده است مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

تغییرات در نحوه استفاده از اراضی، به ویژه در زمینه کشاورزی، به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل موثر در کاهش سطح آب دریاچه ارومیه و نتایج منفی بر محیط زیست پیرامون آن تلقی می‌شود. این مسئله به عنوان یک چالش مهم در سطح ملی و بین‌المللی نیز مورد توجه قرار گرفته است.به همین دلیل، هدف این مطالعه بررسی وضعیت گذشته، فعلی و پیش‌بینی وضعیت آینده کاربری اراضی در حوضه آبخیز زولاچای در استان آذربایجان غربی، یکی از زیرحوضه‌های مهم حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. جهت تحلیل و تشخیص تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز زولاچای، ابتدا تغییرات کاربری برای ۳۳ سال اخیر مورد بررسی قرار گرفت و برای پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۳۰، از تصاویر Sentinel 2 سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۳ استفاده شد. برای اعتبارسنجی مدل، نقشه شبیه‌سازی شده برای سال ۲۰۲۳ با نقشه واقعی حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای همان سال مقایسه شد. ضریب کاپا استخراج شده نشان‌دهنده قابلیت بالای مدل CA مارکوف در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز زولاچای است. پس از تولید نقشه‌های کاربری برای سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۳ و دستیابی به دقت مورد نیاز برای نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۳، با استفاده از مدل CA مارکوف، پیش‌بینی برای سال ۲۰۳۰ انجام شد و نقشه تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۳۰ تهیه گردید ضریب کاپای ۰/۹۱ نشان می‌دهد که مدل CA مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در این منطقه قابلیت بالایی دارد. در کل، روش‌های دانش‌پایه، شیءگرا، و مدل مارکوف نشان داده‌اند که دارای دقت بالا و عملکرد مناسبی در تحلیل تغییرات کاربری اراضی هستند. براساس نتایج به‌دست‌آمده، پیش‌بینی می‌شود که در آینده، سطح اراضی آبی و باغات، مناطق مسکونی و نمکزار در منطقه افزایش خواهند یافت. این یافته‌ها می‌توانند در پیش‌بینی تأثیرات تغییر کاربری اراضی بر رسوب‌زایی، سیل‌خیزی و تأثیرات اکولوژیک مورد استفاده قرار گیرند. به عبارت دیگر، تغییرات پیش‌بینی شده می‌توانند به مدیریت بهینه و پایدار منابع طبیعی کمک کنند. از نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان با استراتژی‌ها و اقدامات کاربردی، به‌منظور کنترل تغییر کاربری اراضی و حفظ اراضی طبیعی اقدام کرد. این اقدامات می‌توانند شامل تدابیری برای حفظ مناطق حساس مانند مناطق آبی و مراتع، توسعه پایدار باغات و ارتقای زیرساخت‌های شهری در مناطق مسکونی باشند. این رویکردها به دنبال حفظ توازن اکولوژیک و اقتصادی در منطقه می‌باشند و می‌توانند به بهبود کیفیت زندگی جامعه و حفاظت از محیط زیست کمک کنند. همچنین، تغییر کاربری اراضی به‌عنوان یک عامل متعادل‌کننده مولفه‌های اکولوژی، هیدرولوژی و اقتصاد ارزیابی می‌شود و تأثیرات آن می‌تواند بر وضعیت اقتصادی و سبک زندگی مردم منطقه تأثیر گذار باشد. این یافته‌ها می‌توانند در فرآیند برنامه‌ریزی محیطی آتی، به‌ویژه در تدوین توصیه‌های پایدار و بهره‌برداری اصولی از اراضی، مورد استفاده قرار گیرد.

1- Gomara

References

Abedini, M., Pasban, A., & Nezafat Taklhe, B. (2023). Evaluation and Preparation of Land Use Map of Nirchai Watershed Using object oriented method. *Geography and Human Relationships*, *5*(4), 318-328. [In Persian] https://doi.org/10.22034/gahr.2023.393602.1849

Abiyat, M., Attar Roshan, S., & Abiyat, M. (2020). Evaluating and Predicting Vegetation Changes Pertaining to Land Use Changes using LCM Model and CA-Markov Chain (Case Study: Ahvaz City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *9*(3), 183-204. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geoeh.2020.67236.0

Aburas, M. M., Abdullah, S. H., Ramli, M. F., Ash'aari, Z. H., & Ahamad, M. S. S. (2018). Simulating and monitoring future land-use trends using CA-Markov and LCM models. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 169*(1), 012050. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/169/1/012050

Armenteras, D., Murcia, U., González, T. M., Barón, O. J., & Arias, J. E. (2019). Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. *Global Ecology and Conservation*, *17*, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00567

Birhanu, A., Masih, I., Van Der Zaag, P., Nyssen, J., & Cai, X. (2019). Impacts of land use and land cover changes on hydrology of the Gumara catchment, Ethiopia. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, *112*, 165-174. https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.01.006

Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *65*(1), 2-16. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004

Fathollahi Roudbary, S. M., Nasir Ahmadi, K., & Khan Mohammadi, M. (2018). land use change modeling using LCM module (Case study: NEKA region). *Natural Ecosystems of Iran, 9*(1), 53-69. [In Persian] https://sanad.iau.ir/Journal/nei/Article/983200

Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. (2018). Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov model under two different scenarios. *Sustainability*, *10*(10), 3421. https://doi.org/10.3390/su10103421

Hersi, N. A., Mulungu, D. M., & Nobert, J. (2024). Spatio-temporal prediction of land use and land cover change in Bahi (Manyoni) Catchment, Tanzania, using multilayer perceptron neural network and cellular automata-Markov chain model. *Environmental Monitoring and Assessment*, *196*(1), 29. https://doi.org/10.1007/s10661-023-12201-w

Igué, A. M., Houndagba, C. J., Gaiser, T., & Stahr, K. (2022). Accuracy of the Land Use/Cover classification in the Oueme Basin of Benin (West Africa). *International Journal of AgriScience, 2*(2), 174-184. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20123239823

Irani, T., Abghari, H., & Rasouli, A. A. (2024). Prediction of Landuse Changes Applying Knowledge-Based and Markov Chain Methods. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(2), 316-338. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.82510.1369

Jouybari Moghadam, Y., Akhundzadeh, M., & Sarajian, M. R. (2014). Estimating snow cover using Landsat 8 satellite images. First International Conference on Environmental Engineering, Tehran. [In Persian] https://civilica.com/doc/347610

Kangabam, R. D., Selvaraj, M., & Govindaraju, M. (2019). Assessment ofland use land cover changes in Loktak Lake in Indo-Burma Biodiversity Hotspot using geospatial techniques. The Egyptian *Journal of Remote Sensing and Space Science, 22*(2), 137-143. http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.04.005

Kumar, K. S., Bhaskar, P. U., & Padmakumari, K. (2015). Application of land change modeler for prediction of future land use land cover: a case study of Vijayawada City. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science, 3*(1), 773-783.

Longley, P. A., Barnsley, M. J., & Donnay, J. P. (2001). Remote sensing and urban analysis: a research agenda. http://dx.doi.org/10.4324/9780203306062

Mirakhorlo, M., & Rahimzadegan, M. (2018). Integration of SimWeight and Markov Chain to Predict Land Use of Lavasanat Basin. *Numerical Methods in Civil Engineering*, *2*(4), 146-158. https://doi.org/10.29252/nmce.2.4.1

Misagh, N., Neysani Samani, N., & Tomanain, A. (2018). Simulation of Urban Development in Tabriz Using CA-Markov Model and Multi-criteria Decision Making. *Human Geography Research*, *50*(1), 217-231. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jhgr.2017.224800.1007382

Moharrami, M., Rasuly, A. A., & Rostamzadeh, H. (2016). Modeling the Impacts of Urmia Lake Retrogression upon the East Coast Villages by Object-Based Image Analysis Procedure. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, *3*(3), 81-98. [In Persian] http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81

Mujiono, T. L., Harmantyo, D., Rukmana, I. P., & Nadia, Z. (2017). Simulation of land use change and effect on potential deforestation using Markov Chain-Cellular Automata. In AIP Conference Proceedings, 1862(1), 1-9. https://doi.org/10.1063/1.4991281

Munthali, M. G., Botai, J. O., Davis, N., & Adeola, A. M. (2019). Multi-temporal analysis of land use and land cover change detection for dedza district of Malawi using geospatial techniques. *Applied Engineering*, *14*(5), 1151-1162. http://hdl.handle.net/2263/71103

Nazar Neghad, H., Hosseine, M., & Mostafazadeh, R. (2020). Assessment of Changes in Landuse Connectivity and Pattern using Landscape Metrics in the Zolachai Watershed, Salmas. *Geographical Planning of Space*, *9*(34), 53-66. [In Persian] https://doi.org/10.30488/gps.2020.95381.2570

Rasouli, A. A. (1999). *Fundamentals of Applied Remote Sensing with a Focus on Satellite Image Processing*. Tabriz: Tabriz University. [In Persian]

Rasouli, A. A., Asgarova, M. M., & Safarov, S. H. (2021). Mapping of LC/LU changes inside the Aghdam district of the Karabakh economics region applying object-based satellite image analysis. *Journal of Life Sciences & Biomedicine*, *3*(76), 54-69. http://dx.doi.org/10.29228/jlsb.22

Roushangar, K., Aalami, M. T., & Gol Mohammadi, H. (2022). Effect of Land Use Trends on the Amount of Agricultural Water Consumption in Urmia Lake Watershed in the Next 20 Years Using Markov Chain. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, *12*(2), 115-131. [In Persian] https://doi.org/10.30495/wsrcj.2022.68546.11310

Samie, A., Deng, X., Jia, S., & Chen, D. (2017). Scenario-based simulation on dynamics of land-use-land-cover change in Punjab Province, Pakistan. *Sustainability*, *9*(8), 1285. https://doi.org/10.3390/su9081285

Weslati, O., Bouaziz, S., & Sarbeji, M. M. (2023). Modelling and assessing the spatiotemporal changes to future land use change scenarios using remote sensing and CA-markov model in the mellegue catchment. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, *51*(1), 9-29. https://doi.org/10.1007/s12524-022-01618-4

Yirsaw, E., Wu, W., Shi, X., Temesgeh, H., & Bekele, B. (2017). Land use and land cover change modeling and the prediction of subsequent changes in ecosystem service values in a coastal area of China, The Su-Xi-Change region. *Sustainability*, *9* (1204), 2-17. https://doi.org/10.3390 /su9071204